

(T1) სწორი (True) თუ მცდარი (False)

განსაზღვრე თითოეული ქვემოთ ჩამოთვლილი მოსაზრება სწორია თუ არასწორი. შემაჯამებელ პასუხების ფურცელში მონიშნე სწორი პასუხი (TRUE/FALSE) თითოეული მოსაზრებისათვის. პასუხის დასაბუთება საჭირო არ არის.

- (T1.1) სავსემთვარიან ღამეს მოწმენდილი ცის საკმარისად დიდი ექსპოზიციის დროით გადაღებულ ფოტოსურათში ცა ისეთივე ლურჯი გამოჩნდება, როგორც დღისით გამოჩნდებოდა. 2
- (T1.2) ბუბანემვარში მყოფი ასტრონომი ინიშნავს ცაზე მზის მდებარეობას წლის ყოველ დღეს უნივერსალური დროით 05:00 საათზე. თუ ჩავთვლით რომ დედამიწის ბრუნვის ღერძი ორბიტული სიბრტყის მართობულია, მაშინ მზის ამ პოზიციებით შემოწერილი კვალი დიდი წრეწირის რკალი იქნება. 2
- (T1.3) თუ ეკლიპტიკის სიბრტყეში მოძრავი მცირე ზომის სხეულის ორბიტული პერიოდი მზის გარშემო ნაკლებია ურანის ორბიტულ პერიოდზე, მაშინ ამ სხეულის ორბიტა მთლიანად ურანის ორბიტის შიგნით იქნება. 2
- (T1.4) მზის სისტემის მასათა ცენტრი ყოველთვის მზის შიგნითაა. 2
- (T1.5) ფოტონი მოძრაობს თავისუფალ სივრცეში. სამყაროს გაფართოების გამო მისი იმპულსი მცირდება. 2

(T2) აირები ტიტანზე

პლანეტის ატმოსფეროში მყოფ აირის ნაწილაკებს აქვთ საკმაოდ განსხვავებული სიჩქარეები. თუ რომელიმე აირის ნაწილაკების საშუალო კვადრატული სიჩქარე ($r. m. s.$) გადააჭარბებს გაქცევის, ანუ მეორე კოსმოსური სიჩქარის $1/6$ -ს, მაშინ აირის უმეტესი ნაწილი ატმოსფეროს დატოვებს. რისი ტოლი უნდა იყოს ერთატომიანი იდეალური აირის მინიმალური ატომური წონა (ფარდობითი ატომური მასა), A_{min} , რომ ის დარჩეს ტიტანის ატმოსფეროში.

მოცემულია, რომ ტიტანის მასა $M_T = 1.23 \times 10^{23}$ კგ, ტიტანის რადიუსი $R_T = 2575$ კმ, ტიტანის ზედაპირის ტემპერატურა $T_T = 93.7$ K.

(T3) ადრეული სამყარო

კოსმოლოგიური მოდელები გვიჩვენებენ რომ სამყაროში გამოსხივების ენერჯის სიმკვრივე, ρ_r , პროპორციულია $(1+z)^4$ -ის, და ნივთიერების ენერჯის სიმკვრივე, ρ_m , პროპორციულია $(1+z)^3$ -ის, სადაც z არის წითელი წანაცვლება. უგანზომილებო სიმკვრივის პარამეტრი, Ω , მოცემულია როგორც $\Omega = \rho/\rho_c$, სადაც ρ_c არის სამყაროს კრიტიკული ენერჯის სიმკვრივე. ახლანდელ სამყაროში გამოსხივებისა და ნივთიერების სიმკვრივის პარამეტრები შესაბამისად არის $\Omega_{r_0} = 10^{-4}$ და $\Omega_{m_0} = 0.3$.

- (T3.1) გამოთვალეთ წითელი წანაცვლება, z_e , რომლისთვისაც გამოსხივებისა და ნივთიერების ენერჯების სიმკვრივეები ტოლი იქნება. 3
- (T3.2) ჩათვალეთ რომ ადრეული სამყაროს გამოსხივებას აქვს შავი სხეულის სპექტრი პიკით 2.732 K ტემპერატურაზე და შეაფასეთ გამოსხივების ტემპერატურა, T_e , როდესაც წითელი წანაცვლება არის z_e . 4
- (T3.3) შეაფასეთ ტიპური ფოტონის გამოსხივების ენერჯია, E_ν (ევ-ში), z_e წითელი წანაცვლებისას. 3

(T4) ჩრდილები

ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში მყოფმა დამკვირვებელმა დააფიქსირა 1.000 მ სიგრძის მქონე ვერტიკალური ჯოხის ჩრდილის უმცირესი სიგრძე დღისით იყო 1.732 მ. იგივე დღეს, იმავე ვერტიკალური ჯოხის ჩრდილის უდიდესი სიგრძე აღმოჩნდა 5.671 მ.

10

განსაზღვრეთ დამკვირვებლის განედი, ϕ , და მზის ტრანექტორიის სიბრტყის დახრილობა (declination) ამ დღეს, δ . მზე ჩათვალეთ სინათლის წერტილოვან წყაროდ და ატმოსფეროში სინათლის გარდატეხას ნუ გაითვალისწინებთ.

(T5) GMRT - ის ხედვის არეში ჩავლა

10

გიგანტური მეტრულ-ტალღოვანი რადიოტალღების ტელესკოპი (GMRT), რომელიც ერთ-ერთი ყველაზე დიდი მეტრულ-ტალღოვანი რადიოტელესკოპია მსოფლიოში, მდებარეობს დასავლეთ ინდოეთში (განედი: $19^{\circ}6'$ ჩრდ, გრძედი: $74^{\circ}3'$ აღმ). GMRT შედგება 30 თევზის ტიპის ანტენისაგან. თითოეული მათგანის დიამეტრი 45.0 მ-ია. GMRT-ის ერთი თევზი მიმართეს ზენიტის მიმართ $39^{\circ}42'$ კუთხით, ჩრდილოეთ მერიდიანის გასწვრივ, ისე რომ წერტილოვანი რადიოტალღების წყარო გადის ტელესკოპის ხედვის არის (telescope beam) დიამეტრის გასწვრივ, როდესაც ეს წყარო მერიდიანს ჩაუვლის.

რისი ტოლია ჩავლის დრო T_{transit} რომლისთვისაც ეს წყარო იქნება GMRT-ს 200 მკვ სიხშირეზე მომუშავე ერთი თევზის ხედვის არის FWHM-ის (full width at half maximum – არე სადაც სიდიდე მაქსიმუმის ნახევარზე მეტია) შიგნით.

მინიშნება: კონკრეტულ სიხშირეზე მომუშავე რადიოთევზის ხედვის არის FWHM ზომა შეესაბამება თევზის კუთხურ გარჩევადობას. ჩათვალე რომ განათებულობა თანაბარია.

(T6) ცეპიდების პულსაცია

β -დორადუსი არის ცეპიდი ცვლადი ვარსკვლავი, რომლის პულსაციის პერიოდია 9.84 დღე. სიმარტივისათვის ვუშვებთ, რომ ვარსკვლავი ყველაზე კამკაშაა, როცა ის ყველაზე მეტადაა შეკუმშული (რადიუსი არის R_1) და ყველაზე მკრთალია, როცა იგი ყველაზე მეტადაა გაფართოებული (რადიუსი არის R_2). სიმარტივისათვის დაუშვით, რომ ვარსკვლავი მთელი ციკლის განმავლობაში ინარჩუნებს სფერულ ფორმას და იქცევა როგორც იდეალური შავი სხეული. ვარსკვლავის ბოლომეტრული სიდიდე იცვლება 3.46-დან 4.08-მდე. დოპლერის გაზომვებით ვიცით, რომ პულსაციის დროს ვარსკვლავის ზედაპირის შეკუმშვისა და გაფართოების საშუალო რადიალური სიჩქარე არის 12.8 კმ წმ^{-1} . პულსაციის პერიოდის განმავლობაში ვარსკვლავის თერმული რადიაციის პიკი იცვლება 531.0 ნმ – დან 649.1 ნმ – მდე.

(T6.1) იპოვეთ ვარსკვლავის ყველაზე მეტად შეკუმშული და ყველაზე მეტად გაფართოებული მდგომარეობებისას რადიუსების შეფარდება (R_1/R_2). 7

3

(T6.2) იპოვეთ ვარსკვლავის რადიუსები (მეტრებში) მათი ყველაზე მეტად შეკუმშული და ყველაზე მეტად გაფართოებული მდგომარეობებისას (R_1 და R_2). 5

5

(T6.3) გამოთვალეთ ვარსკვლავის გამოსხივების ნაკადი, F_2 , როდესაც ის ყველაზე მეტადაა გაფართოებული. 5

5

(T6.4) იპოვეთ ვარსკვლავამდე მანძილი, D_{star} , პარსეკებში.

(T7) ტელესკოპის ოპტიკა

იდეალური გარდამტეხი ტელესკოპის ფოკალური ფარდობა არის $f/5$, ობიექტივის ლინზის ფოკუსური მანძილი არის 100 სმ, ხოლო ოკულარის 1 სმ.

(T7.1) რისი ტოლია ტელესკოპის კუთხური გამადიდებლობა, m_0 ? რისი ტოლია ტელესკოპის სიგრძე, L_0 , ანუ მანძილი ობიექტივისა ოკულარს შორის? 4

4

ობიექტივის ლინზასა და ობიექტივის ფოკუსს (prime focus) შორის ჩაზნექილი ლინზის (ბარლოუს ლინზა) ჩაყენება არის ტელესკოპის სიგრძის დიდად გაზრდის გარეშე ტელესკოპის გამადიდებლობის გაზრდის მიღებული გზა. ტელესკოპის გამადიდებლობის

ორჯერ გასაზრდელად, მის ობიექტივსა და ოკულარს შორის ჩააყენეს 1 სმ ფოკუსური მანძილის მქონე ბარლოუს ლინზა.

(T7.2) ობიექტივის ფოკუსიდან რა მანძილზე, d_B , უნდა მოვათავსოთ ბარლოუს ლინზა, რომ მივიღოთ საჭირო ორმაგი გამადიდებლობა? 6

(T7.3) რისი ტოლია ტელესკოპის სიგრძის ცვლილება, ΔL ? 4

ამჯერად ტელესკოპი ააწყვეს იგივე ობიექტივის ლინზითა და CCD დეტექტორით ობიექტივის ფოკუსში (ბარლოუს ლინზისა და ოკულარის გარეშე). CCD დეტექტორის თითოეული პიქსელის ზომაა 10 მკმ.

(T7.4) რა იქნება CCD-ზე ორი ვარსკვლავის გამოსახულების ცენტროიდებს შორის მანძილი პიქსელებში, n_p , თუ მათი კუთხური დამორება ცაში არის $20''$? 6

(T8) **U (ულტრაიისფერი) დიაპაზონის ფოტოგრაფია**

ვარსკვლავის ხილული ვარსკვლავიერი სიდიდე U დიაპაზონში არის $m_U = 15.0$. U დიაპაზონის ფილტრი არის იდეალური, ანუ ის იდეალურად (100 %) ატარებს დიაპაზონის შიგნით, ხოლო დიაპაზონის გარეთ საერთოდ არ ატარებს (0 %). ფილტრის დიაპაზონის ცენტრი არის 360 ნმ, ხოლო სიგანე 80 ნმ. დაშვებულია რომ ვარსკვლავს აქვს ბრტყელი ენერჯის სპექტრი სიხშირის მიხედვით. ვარსკვლავის ვარსკვლავიერი სიდიდის, m , გადაყვანა ნებისმიერ დიაპაზონსა და ნაკადის სიმკვრივეში, f , ჯენსკის ერთეულებში ($1 \text{ Jy} = 1 \times 10^{-26} \text{ ვტ } 3\text{ც}^{-1} \text{ მ}^{-2}$) მოიცემა შემდეგნაირად

$$f = 3631 \times 10^{-0.4m} \text{ Jy}$$

(T8.1) ამ ვარსკვლავიდან წამოსული დაახლოებით რამდენი, N_0 , U დიაპაზონის ფოტონი დაეცემა დედამიწის ატმოსფეროს ზედა ფენის 1 მ^2 -ზე თითოეულ წამში? 8

ამ ვარსკვლავს U-დიაპაზონში აკვირდებიან დედამიწაზე არსებული ტელესკოპიდან, რომლის მთავარი სარკის დიამეტრი 2.0 მ. დაკვირვებისას ატმოსფეროს მიერ შთანთქმული გამოსხივების წილია 50%. შეგიძლიათ დაუშვათ რომ დიფრაქცია არ ხდება. დამის ცის ზედაპირის საშუალო სიკაშკაშე U დიაპაზონში არის 22.0 (ვარსკვლავიერი სიდიდე) / (რკალური სეკუნდი)².

(T8.2) რისი ტოლია ვარსკვლავიდან მოსული ფოტონების რაოდენობის ციდან წამოსულ ფოტონების რაოდენობასთან შეფარდება, R , როდესაც გაზომვა ხდება $2''$ დიამეტრის მქონე წრიული აპერტურის მეშვეობით? 8

(T8.3) ჩვეულებრივ, მთავარ სარკეზე U დიაპაზონის ფოტონების მხოლოდ 20%-ის დაცემა ფიქსირდება. ვარსკვლავიდან წამოსული რამდენი, N_t , ფოტონი ფიქსირდება ყოველ წამში? 4

(T9) **მარსის ორბიტერის მისია**

ინდური მარსის ორბიტერის მისია (MOM) გაეშვა პოლარული თანამგზავრის გამშვები მანქანის (PSLV) მეშვეობით 2013 წლის 5 ნოემბერს. MOM-ის სუფთა მასა (სხეული + ინსტრუმენტები) იყო 500 კგ და მასში არსებული საწვავის მასა - 852 კგ. თავიდან ის გაიყვანეს დედამიწის გარშემო ელიფსურ ორბიტაზე, რომლის პერიგეა იყო 264.1 კმ და აპოგეა კი 23903.6 კმ ათვლილი დედამიწის ზედაპირიდან. ორბიტის ექვსჯერ შემოვლის შემდეგ, MOM გადაიყვანეს ტრანს-მარსული შეყვანის ორბიტაზე (ჰოპმანის ორბიტა) .

პირველი ასეთი ორბიტული გადასვლა მოხდა პერიგეასთან ახლოს ძრავების მოკლე დროით ჩართვით. ორბიტის შესაცვლელად ძრავები ისე ჩართეს, რომ არ მოხდა ორბიტის სიბრტყის და პერიგეის შეცვლა. ამან თანამგზავრს მიანიჭა იმპულსი სიდიდით $1.73 \times 10^5 \text{ კგ მ წმ}^{-1}$. საწვავის დაწვის გამო მასის ცვლილება უგულვებელყავით.

(T9.1) რისი ტოლია ახალი აპოგეის სიდიდე, h_a , ათვლილი დედამიწის ზედაპირიდან ძრავის ჩართვის შემდეგ? 14

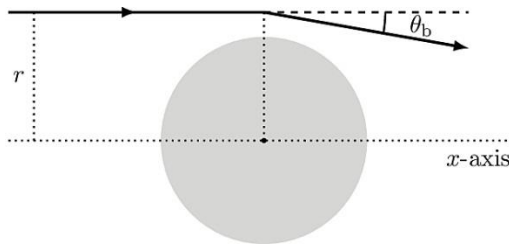
(T9.2) იპოვეთ ახალი ორბიტის ექსცენტრისიტეტი (e) და MOM-ის ახალი ორბიტული პერიოდი (P) ძრავის ჩართვის შემდეგ. 6

(T10) გრავიტაციული ლინზის ტელესკოპი

აინშტაინის ზოგადი ფარდობითობის თეორიის მიხედვით სინათლის სხივი მასიურ ობიექტებთან იღუნება. სიმარტივისათვის ვთვლით რომ სინათლის გადაღუნვა თითოეული სხივისათვის ხდება ერთ წერტილში, როგორც ეს ნაჩვენებია სურათზე. გადაღუნვის კუთხე, θ_b , მოიცემა ფორმულით

$$\theta_b = \frac{2R_{sch}}{r}$$

სადაც R_{sch} არის გრავიტაციული სხეულის შვარცშილდის რადიუსი. ვთქვათ r არის მანძილი სხივსა და მის პარალელურ სხეულის ცენტრზე გამავალ x ღერძს შორის. r -ს ვუწოდოთ “სამიზნე პარამეტრი”.



ამგვარად, მასიური სხეული იქცევა ლინზასავით. მასიური სხეულის მიმართ უსასრულო მანძილიდან მომავალი სინათლის სხივები, რომელთაც აქვთ ერთი და იგივე r სამიზნე პარამეტრი, იკრიბებიან ღერძის გასწვრივ ერთ წერტილში, მასიური სხეულიდან f_r მანძილზე. ამ წერტილში მყოფი დამკვირვებელი მიიღებს დიდ გაძლიერებას გრავიტაციული ფოკუსირების გამო. ამ შემთხვევაში მასიური სხეული გამოიყენება როგორც გრავიტაციულ ლინზიანი ტელესკოპი შორეული სიგნალების გასაძლიერებლად.

(T10.1) განიხილე მზე როგორც გრავიტაციული ლინზის ტელესკოპი. გამოთვალე მზის ცენტრიდან უმოკლესი მანძილი, f_{min} , (აე-ში), სადაც სინათლის სხივები ფოკუსირდება. 6

(T10.2) დავუშვათ რომ a რადიუსის მქონე მცირე წრიული დეტექტორი მოთავსებულია f_{min} მანძილზე x ღერძის მართობულად და მისი ცენტრი ემთხვევა ამ ღერძს. შენიშნე რომ დეტექტორში აღმოჩნდება მხოლოდ ის სხივები, რომლებიც გაივლიან მზის გარშემო გარკვეულ რგოლში, რომლის სიგანეა h (სადაც $h \ll R_{\odot}$). გაძლიერების ფაქტორი დეტექტორთან განისაზღვრება როგორც დეტექტორზე დაცემული სინათლის ინტენსივობების შეფარდება მზის არსებობისა და არარსებობის შემთხვევაში. 8

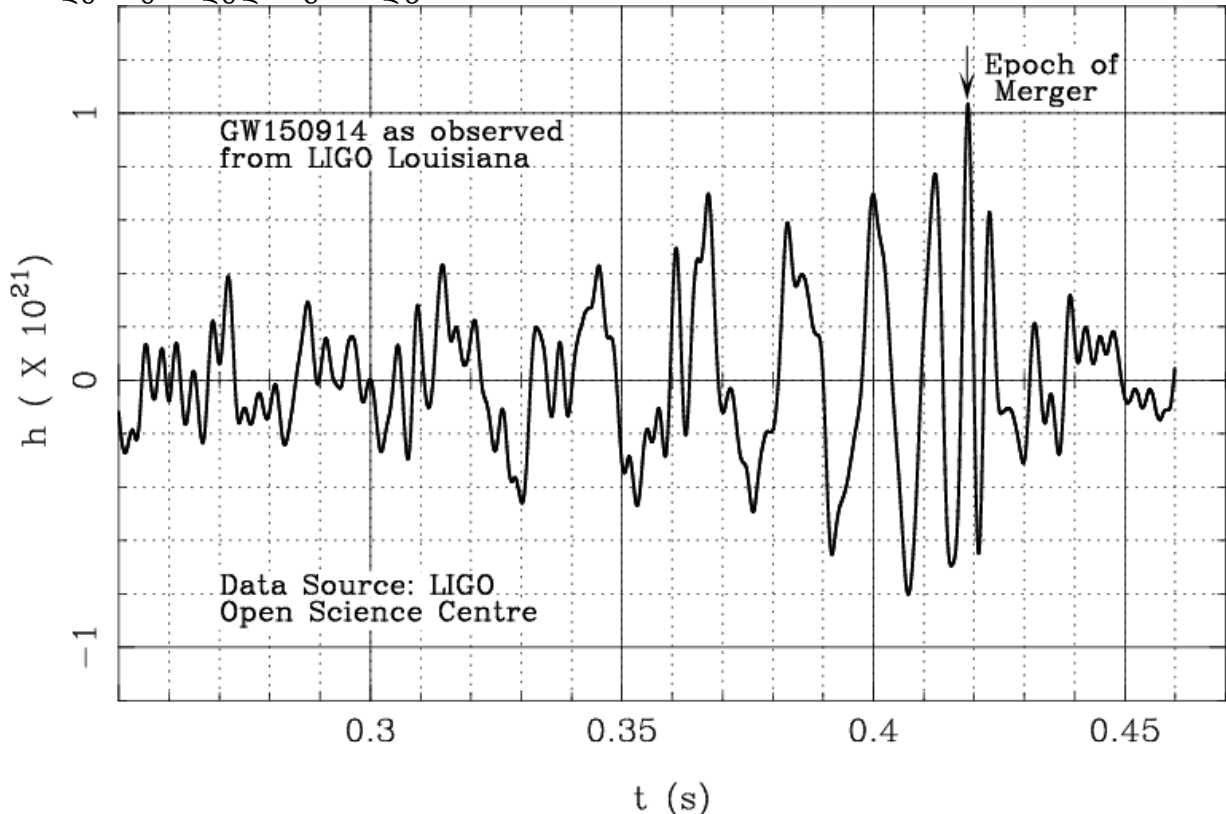
R_{\odot} და a სიდიდეებით გამოსახეთ გაძლიერების ფაქტორი დეტექტორის ადგილას, A_m .

(T10.3) წარმოიდგინეთ მასის სფერული განაწილება, როგორცაა გალაქტიკების გროვაში არსებული ბნელი მატერია, რომელშიც სინათლე გადის და ამავდროულად გრავიტაციის გამო იღუნება. სიმარტივისათვის დაუშვით რომ r სამიზნე პარამეტრის მქონე გრავიტაციული გაღუნვისთვის მხოლოდ ის $M(r)$ მასა უნდა განიხილოს, რომელიც r რადიუსის სფეროს შიგნითაა მოთავსებული. 6

როგორი უნდა იყოს მასის განაწილება, $M(r)$, რომ ეს გრავიტაციული ლინზა იქცეოდეს როგორც იდეალური ამოხსნეილი ოპტიკური ლინზა?

(T11) გრავიტაციული ტალღები

პირველ გრავიტაციულ ტალღების სიგნალზე დაკვირვება მოხდა 2015 წელს აშშ-ში LIGO-ს ორი დეტექტორის მიერ ჰანფორდსა და ლივინგსტონში. ამ გაზომვებიდან ერთი მათგანი (ფარდობითი წაგრძელების დამოკიდებულება დროზე წამებში) ნაჩვენებია თანდართულ ნახაზზე. ამ ამოცანაში სიგნალს წარმოვადგენთ როგორც პატარა სატესტო m მასის სხეულის ბრუნვას დიდი M (ანუ $m \ll M$) მასის მქონე სხეულის გარშემო, ცენტრალური მასის ბუნების რამდენიმე მოდელის განხილვით.



სატესტო მასა კარგავს ენერგიას, რადგან იგი ასხივებს გრავიტაციულ ტალღებს. ამის შედეგად ორბიტა პატარავდება, სანამ სატესტო მასა ობიექტის ზედაპირს ან შავი ხვრელის შემთხვევაში შიდა სტაბილურ წრიულ ორბიტას (ISCO) არ მიაღწევს. ამ ორბიტის რადიუსია $R_{ISCO} = 3R_{sch}$, სადაც R_{sch} არის შავი ხვრელის შვარცშილდის რადიუსი. ამ მომენტს ეწოდება „შეერთების ეპოქა“ (Epoch of merger). ამ მომენტში გრავიტაციული ტალღების ამპლიტუდა მაქსიმალურია, ასევე მაქსიმალურია გრავიტაციული ტალღების სიხშირე, რომელიც ყოველთვის ორჯერ მეტია ორბიტული გარშემოვლის სიხშირეზე. ამ ამოცანაში გრავიტაციულ ტალღებს განვიხილავთ მხოლოდ შეერთების ეპოქამდე, როდესაც კეპლერის კანონები ჯერ კიდევ სამართლიანია. შეერთების შემდეგ გრავიტაციული ტალღების ფორმა არსებითად შეიცვლება.

(T11.1) განიხილეთ ზედა ნახაზზე ნაჩვენები გრავიტაციული ტალღებზე დაკვირვების შედეგი. შეაფასეთ გრავიტაციული ტალღების პერიოდი, T_0 , და აქედან გამომდინარე სიხშირე, f_0 , დაჯახების ეპოქის უშუალოდ წინა დროის მონაკვეთში. 3

(T11.2) ვარსკვლავების ძირითადი მიმდევრობისთვის (MS ვარსკვლავები), ვარსკვლავის რადიუსი, R_{MS} , და მისი მასა, M_{MS} , დაკავშირებულია შემდეგი ხარისხობრივი კანონით: 10

$$R_{MS} \propto (M_{MS})^\alpha$$

სადაც $\alpha = 0.8$ როცა $M_\odot < M_{MS}$
 $= 1.0$ როცა $0.08M_\odot \leq M_{MS} \leq M_\odot$

დაწერეთ გრავიტაციული ტალღების სიხშირის მაქსიმალური მნიშვნელობის, f_{MS} , გამოსახულება ვარსკვლავის მასის (მზის მასის ერთეულებში (M_{MS}/M_\odot)) და α -ს საშუალებით, თუ ცენტრალური ობიექტი წარმოადგენს მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავს.

- (T11.3) ზემოთ მიღებული შედეგის გამოყენებით განსაზღვრეთ α -ს ისეთი მნიშვნელობა, რომელიც მოგვცემს გრავიტაციული ტალღების სიხშირის შესაძლებელ მაქსიმალურ მნიშვნელობას, $f_{MS,max}$, მთავარი მიმდევრობის ნებისმიერი ვარსკვლავისათვის. გამოთვალეთ ეს სიხშირე. 9
- (T11.4) თეთრი ჯუჯა (WD) ვარსკვლავის მაქსიმალური მასაა $1.44 M_\odot$ (ცნობილი როგორც ჩანდრასეხარის ზღვარი). თეთრ ჯუჯებში გვაქვს მასისა და რადიუსის შემდეგი დამოკიდებულება $R \propto M^{-1/3}$. მზის მასის თეთრი ჯუჯის შესაბამისი რადიუსია 6000 კმ. იპოვეთ გამოსხივებული გრავიტაციული ტალღების უდიდესი სიხშირე, $f_{WD,max}$, თუ სატესტო მასა ბრუნავს თეთრი ჯუჯის გარშემო. 8
- (T11.5) ნეიტრონული ვარსკვლავები (NS) არიან უცნაური კომპაქტური ობიექტები, რომელთა მასაც მერყეობს 1 და $3M_\odot$ შუალედში. რადიუსები კი 10 – 15 კმ შუალედში არიან. იპოვეთ გამოსხივებული გრავიტაციული ტალღების შუალედი $f_{NS,min}$ და $f_{NS,max}$, თუ სატესტო მასა ბრუნავს ნეიტრონული ვარსკვლავის გარშემო, მისი ცენტრიდან რადიუსის მახლობელ მანძილზე. 8
- (T11.6) დაწერეთ გამოსხივებული გრავიტაციული ტალღების გამოსახულება, შავი ხვრელის მასის, M_{BH} , და მზის მასის, M_\odot , საშუალებით, თუ სატესტო მასა ბრუნავს შავი ხვრელის (BH) გარშემო. 7
- (T11.7) მხოლოდ დაჯახების ეპოქამდე გაზომილი გრავიტაციული ტალღების პერიოდზე (ან სიხშირეზე) დაყრდნობით განსაზღვრეთ, შეიძლება იყოს თუ არა ობიექტი მთავარი მიმდევრობის ვარსკვლავი (MS), თეთრი ჯუჯა (WD), ნეიტრონული ვარსკვლავი (NS) ან შავი ხვრელი (BH). სწორი პასუხი მონიშნეთ შემაჯამებელ პასუხების ფურცელზე. შეაფასეთ ობიექტის მასა, M_{obj} , მზის მასის, M_\odot , ერთეულებში. 5

(T12) ეგზოპლანეტები

ეგზოპლანეტების (პლანეტები სხვა ვარსკვლავების გარშემო) დაფიქსირების ორი ძირითადი მეთოდია რადიალური სიჩქარის მეთოდი (ეგრეთწოდებული “wobble”) და ჩავლის ანუ ტრანზიტის მეთოდი. ამ ამოცანაში ჩვენ გავიგებთ თუ როგორ შეიძლება ამ ორი მეთოდის შედეგების კომბინაციით გამოვლინდეს დიდი რაოდენობით ინფორმაცია ეგზოპლანეტის მოძრაობასა და მისი მასპინძელი ვარსკვლავის შესახებ.

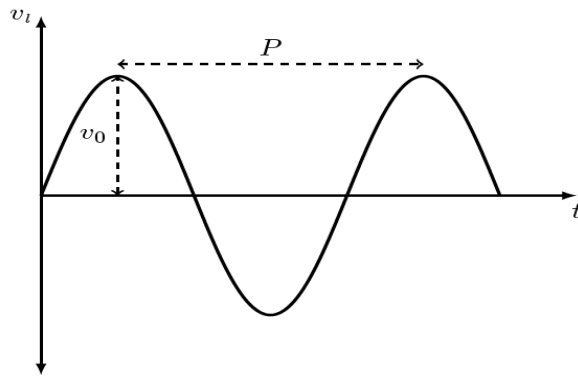
ამ ამოცანის ამოხსნისას დავეუშვებთ რომ M_p მასის და R_p რადიუსის პლანეტა მოძრაობს a რადიუსის წრიულ ორბიტაზე M_s მასის ($M_s \gg M_p$) და R_s რადიუსის ვარსკვლავის გარშემო. პლანეტის ორბიტალური სიბრტყის მართობი დახრილია i კუთხით ხედვის წირის მიმართ ($i = 90^\circ$ ნიშნავს რომ პლანეტის ორბიტა ხედვის სიბრტყის მართობულია). ჩვენ ვუშვებთ რომ ვარსკვლავის გარშემო სხვა პლანეტა არ მოძრაობს და $R_s \ll a$.

რხევის (“Wobble”) მეთოდი:

როდესაც პლანეტა და ვარსკვლავი ბრუნავენ მასათა ცენტრის გარშემო, ვხედავთ რომ ვარსკვლავი ირხევა (“wobble”), რადგან ვარსკვლავის მასათა ცენტრი არ ემთხვევა

ვარსკვლავი-პლანეტის მასათა ცენტრს. შედეგად, ვარსკვლავიდან მიღებული სინათლე განიცდის დოპლერის წანაცვლებას, რაც დაკავშირებულია მისი რხევის სიჩქარესთან.

რადიალური სიჩქარე, v_r , შეიძლება განისაზღვროს ცნობილი სპექტრული ხაზის დოპლერის წანაცვლებით და მისი t დროის მიხედვით პერიოდული ცვლილება გამოსახულია ქვემო გრაფიკზე. ამ გრაფიკზე ნაჩვენებია ორი გაზომვადი სიდიდე, კერძოდ, ორბიტალური პერიოდი P და მაქსიმალური რადიალური სიჩქარე v_0 .



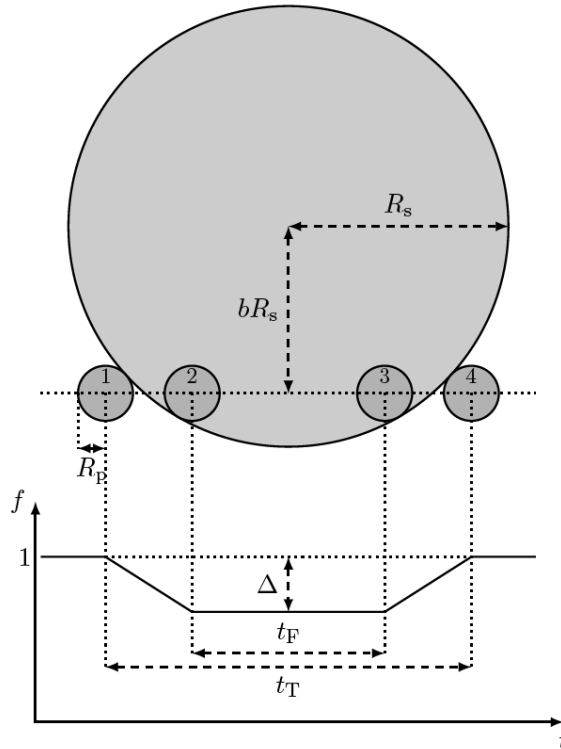
(T12.1) M_s და P სიდიდეებით გამოიყვანეთ ორბიტული რადიუსის (a) და ორბიტული სიჩქარის (v_p) გამოსახულება. 3

(T12.2) M_s , v_0 და v_p სიდიდეებით მიიღეთ პლანეტის მასის ქვედა ზღვარი, $M_{p,\min}$. 4

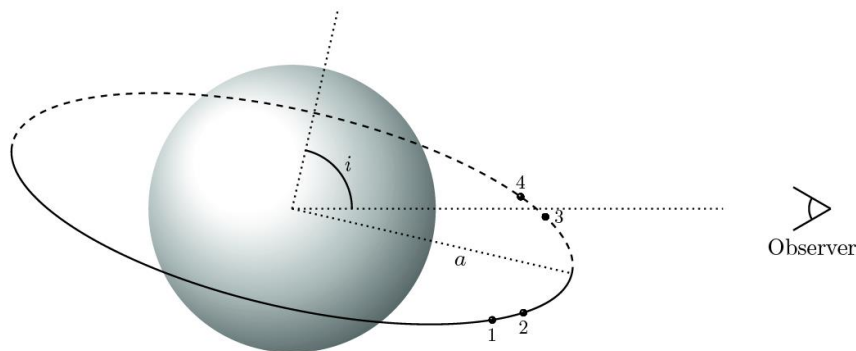
ტრანზიტის მეთოდი:

როდესაც პლანეტა გარს უვლის მის მასპინძელ ვარსკვლავს და მისი ორბიტული სიბრტყე თითქმის ხედვის სიბრტყის მართობულია ($i \approx 90^\circ$), მაშინ დამკვირვებელი დაინახავს რომ ეს პლანეტა პერიოდულად ჩაუვლის ვარსკვლავის დისკოს. ეს გამოიწვევს ვარსკვლავის სინათლის ნაკადის მცირე შემცირებას, რომლის გაზომვაც შესაძლებელია. ქვემოთ მოცემული სქემატური დიაგრამა (მასშტაბი დაცული არ არის) გვიჩვენებს დამკვირვებლის მიერ დანახულ სიტუაციას და შესაბამისი ტრანზიტის სინათლის წირს (სინათლის ნაკადის, f , დამოკიდებულება დროზე, t), როდესაც ვარსკვლავის დისკო თანაბრად კაშკაშაა.

თუ დახრის კუთხე i არის ზუსტად 90° , მაშინ დავინახავთ რომ პლანეტამ ვარსკვლავის დისკო დიამეტრის გასწვრივ გადაკვეთა. i -ს სხვა მნიშვნელობისათვის გადაკვეთა (ტრანზიტი) მოხდება ჯორდის გასწვრივ, რომლიც ცენტრი მდებარეობს დისკოს ცენტრიდან bR_s მანძილზე, როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები. როდესაც ვარსკვლავის დისკოს პლანეტა არ ეფარება, სინათლის ნაკადი მიჩნეულია 1-ის ტოლად და გრაფიკის მაქსიმალური სიღრმე ტრანზიტის განმავლობაში აღნიშნულია Δ -თი.



ტრანზიტისას ოთხი მნიშვნელოვანი მომენტებია პირველი, მეორე, მესამე და მეოთხე კონტაქტები, რომლებიც ნახაზზე აღნიშნულია შესაბამისად 1-დან 4-მდე. დროის ინტერვალი მეორე და მეოთხე კონტაქტებს შორის, t_F , შეესაბამება დროის იმ შუალედს, როდესაც დამკვირვებლის მიერ დანახული პლანეტის დისკო მთლიანად მოექცევა ვარსკვლავის დისკოს შიგნით. პირველ და მეოთხე კონტაქტებს შორის ინტერვალი არის t_T . ეს წერტილები ასევე მონიშნულია ქვედა გვერდითი ხედით დახატულ სქემატურ ნახაზზე (მასშტაბი დაცული არ არის).



ტრანზიტის მეთოდის გაზომვადი სიდიდეებია P , t_T , t_F და Δ .

(T12.3) R_s და a სიდიდეებით იპოვეთ i -ს მნიშვნელობათა ის შუალედი როდესაც ტრანზიტი მთლიანად ხილულია შორეული დამკვირვებლისთვის. 2

(T12.4) R_s და R_p სიდიდეებით გამოსახეთ Δ . 1

(T12.5) R_s , R_p , a , P და b სიდიდეებით გამოსახეთ t_T და t_F .

(T12.6) იმ დაშვებით რომ პლანეტის ორბიტა გაცილებით დიდია ვარსკვლავის რადიუსზე, აჩვენეთ რომ b პარამეტრი მოიცემა შემდეგნაირად: 5

$$b = \left[1 + \Delta - 2\sqrt{\Delta} \frac{1 + \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2}{1 - \left(\frac{t_F}{t_T}\right)^2} \right]^{1/2}$$

(T12.7) გამოიყენეთ (T12.6)-ის შედეგი რათა მიიღოთ გამოსახულება a/R_s შეფარდებისათვის, გამოსახული ტრანზიტის გაზომვადი პარამეტრებით. გამოიყენეთ შესაბამისი მიახლოება. 3

(T12.8) გამოიყენეთ რხევის (“wobble”) და ტრანზიტის მეთოდების კომბინირებული შედეგი t_T , t_F , Δ და P სიდიდეებით ვარსკვლავის საშუალო სიმკვრივის $\rho_s \equiv \frac{M_s}{4\pi R_s^3/3}$ გამოსახვისათვის. 6

ქვიანი ან აიროვანი:

დავუშვათ რომ პლანეტა-ვარსკვლავი სისტემისთვის პლანეტის წრიული ორბიტა დედამიწიდან ჩანს ხედვის სიბრტყის მართობულად ($i = 90^\circ$). ცნობილია რომ მასპინძელი ვარსკვლავის მასაა $1.00M_\odot$. ტრანზიტის პერიოდია (P) 50.0 დღე-ღამე და ტრანზიტის ხანგრძლივობა (t_T) 1.00 საათი. ტრანზიტისას სინათლის გრაფიკის ჩაღრმავება (Δ) არის 0.0064. იგივე სისტემის რხევის მეთოდით გაზომილი მაქსიმალური რადიალური სიჩქარე არის 0.400 მწმ^{-1} .

(T12.9) იპოვეთ პლანეტის ორბიტული რადიუსი a აე-ში და მეტრებში. 2

(T12.10) იპოვეთ სისტემის t_F/t_T შეფარდება. 2

(T12.11) გამოსახეთ პლანეტის M_p მასა და R_p რადიუსი შესაბამისად დედამიწის მასითა (M_\oplus) და რადიუსით (R_\oplus). გავს პლანეტის აგებულება ქვიანს ან აიროვანს? მონიშნე შესაბამისი უჯრა შემაჯამებელ პასუხების ფურცელში: ქვიანი (ROCKY) ან აიროვანი (GASEOUS). 8

ტრანზიტისას დაფიქსირებული სინათლე ვარსკვლავის ლაქებით და კიდის დაბნელებით:

(T12.12) დაუშვით რომ ხდება ხდება ტრანზიტი $i = 90^\circ$ კუთხით იმ ვარსკვლავის გარშემო, რომელსაც ეკვატორზე აქვს პლანეტის რადიუსის, R_p , შესადარი ზომის ლაქა. პლანეტის ბრუნვის პერიოდია $2P$. დახაზეთ პლანეტის ხუთი სრული ტრანზიტისას გაზომილი სინათლის სქემატური გრაფიკი (შემაჯამებელ პასუხებში გამოყოფილ ადგილას). როდესაც ტრანზიტი არ ხდება მაშინ გაზომილი სინათლის ნაკადის ერთთან გატოლება თითოეული გრაფიკისთვის ცალცალკე შეიძლება მოხდეს. დაუშვით რომ პირველი ტრანზიტისას პლანეტა და ვარსკვლავის ლაქა ერთმანეთს არ შეხვდებიან, ხოლო მეორე ტრანზიტისას კი შეხვდებიან. 4

(T12.13) აქამდე ამოცანის ამოხსნისას ვთვლიდით რომ ვარსკვლავის დისკო ყველგან თანაბარი სიკაშკაშისაა. თუმცა რეალური ვარსკვლავის დისკოს კიდეები შედარებით ჩაბნელებულია. დახაზე ტრანზიტისას გაზომილი სინათლის სქემატური გრაფიკი, როდესაც ვარსკვლავის კიდეების დაბნელება გასათვალისწინებელია. 2